



# ЗБОРНИК РАДОВА



## XXX СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ

**2. - 4. октобар 2019. године**  
**Хотел “Дивчибаре”, Дивчибаре, Србија**

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА  
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



# **ЗБОРНИК РАДОВА**

**XXX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
Дивчибаре  
2- 4. октобар 2019. године**

**Београд  
2019. године**

**RADIATION PROTECTION SOCIETY OF  
SERBIA AND MONTENEGRO**



# PROCEEDINGS

**XXX SYMPOSIUM RPSSM**  
**Divčibare**  
**2<sup>nd</sup> - 4<sup>th</sup> October 2019**

**Belgrade**  
**2019**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
2-4.10.2019.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“  
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Проф. др Снежана Пајовић, научни саветник  
в.д. директора Института за нуклеарне науке Винча

Уредници:

Др Михајло Јовић  
Др Гордана Пантелић

**ISBN 978-86-7306-154-2**

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Михајло Јовић, Гордана Пантелић

Електронско издање:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351  
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2019.

## MAPIRANJE DOZE NA POVRŠINI KOŽE U INTERVENTNOJ KARDIOLOGIJI

Marko KRAJINOVIĆ<sup>1,2</sup> i Olivera CIRAJ-BJELAC<sup>1,2</sup>

1) Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd, Srbija,  
[marko.krajinovic@vinca.rs](mailto:marko.krajinovic@vinca.rs)

2) Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija, [ociraj@vinca.rs](mailto:ociraj@vinca.rs)

### SADRŽAJ

*Interventne kardiološke procedure su često povezane sa relativno visokim dozama i sa dugim vremenom izlaganja zračenju, što često rezultuje visokom apsorbovanom dozom kože. Cilj ovog rada je da se razvije aplikacija za mapiranje maksimalne doze kože u interventnim kardiološkim procedurama. Maksimalna doza na površini kože je izračunata pomoću informacija iz DICOM fajlova generisanih nakon kardioloških procedura. Izračunate maksimalne doze su validirane pomoću XR-RV3 Gafchromic filmova koji su postavljeni ispod pacijenta tokom svake procedure. Srednja devijacija između izmerenih i izračunatih maksimalnih doza je  $8,7\% \pm 26,3\%$ . Simulirana dozna mapa pacijenta je pokazala dobro poklapanje sa XR-RV3 Gafchromic filovima. Aplikacija za mapiranje doze kože prikazana u ovom radu je elegantno rešenje i pogodna alternativa za XR-RV3 Gafchromic filmove.*

### 1. Uvod

Kontinualni razvoj i implementacija sofisticiranih katetera i stentova u interventnoj kardiologiji (IC, eng. *Interventional Cardiology*) dovodi do složenijih i dugotrajnih procedura, ali i do povećanja doza za pacijente. Vremenom su kod određenog broja pacijenata registrovane radijacione povrede kože čime je nastala potreba za optimizovanom i personalizovanom dozimetrijom za pacijente. Do nedavno su merenja doze pomoću pasivnih dozimetara bila jedini način da se precizno proceni maksimalna doza na površini kože (PSD, eng. *Peak Skin Dose*) pacijenta. Međutim, s obzirom na to da su ovakva merenja složena, dugotrajna, nepraktična i skupa, bilo je neophodno osmisliti i razviti jednostavniji i praktičniji način za procenu PSD. Ubrzo su razvijena automatska *online* i *offline* rešenja za izračunavanje doze na površini kože pacijenta kao i *online* parametri koji omogućavaju procenu doze za pacijente (proizvod kerame u vazduhu i površine, kerma u vazduhu u interventnoj referentnoj tački) [1, 2, 3]. Sva pomenuta rešenja se baziraju na transferu podatka iz rendgen aparata ili iz DICOM (eng. *Digital Imaging and Communication in Medicine*) RDSR (eng. *Radiation Dose Structured Report*), ili na podacima sačuvanim u zaglavlju (eng. *header*) DICOM fajlova nakon procedure [4].

U ovom radu je prikazano softversko rešenje za mapiranje doze na površini kože pacijenta pomoću informacija iz DICOM fajlova generisanih nakon perkutane koronarne intervencije (PCI, eng. *Percutaneous Coronary Intervention*), koja predstavlja visokodoznu proceduru u interventnoj kardiologiji. U realnim kliničkim uslovima je izmerena maksimalna doza na površini kože pacijenta pomoću radiohromnih filmova

velikog formata tokom PCI. Na kraju su analizirani uporedni rezultati dobijeni softverski i pomoću radiohromnih filmova.

## 2. Materijali i metode

### 2.1. *Populacija pacijenata*

Populacija pacijenata koja je bila uključena u studiju su oni kod kojih je izvesno bilo da će biti podvrgnuti visokodoznim PCI procedurama na odeljenju za kateterizaciju srca Kliničkog centra Srbije. Ukupno je analizirano 10 PCI procedura.

### 2.2. *Fluoroskopski sistem*

Procedure su izvršene na dva identična Siemens Axiom Artis dFA digitalna fluoroskopska sistema koja se nalaze u dve sale (sala D i F) za kateterizaciju srca. Osnovne karakteristike sistema su: generator snage 80 kW, napon i struja cevi 50-125 kV i 10-800 mA respektivno, ravan panel detektor, filtracija aparata od 4 mm Al, sa dodatnom filtracijom od Cu (0 mm do 0,3 mm). Brzina frejmova od 7,5 f/s je korišćena tokom svih procedura.

### 2.3. *Etaloniranje fluoroskopskih mašina*

Etaloniranje dozimetara intergrisanih u rendgen-aparate za fluoroskopiju u dozimetrijskoj veličini kerma u vazduhu u interventnoj referentnoj tački,  $K_{a,r}$ , izvršena je u skladu sa standardnom procedurom za sisteme sa rendgenskom cevi ispod nosača pacijenta [5]. Poluprovodnički dozimetar R-100 Barracuda (RTI Electronic, Molndal, Sweden) korišćen je kao referentni standard za određivanje kerme u vazduhu.

### 2.4. *Merenje doze na površini kože*

Doza na površini kože je merena korišćenjem XR-RV3 Gafchromic filmova. Filmovi su postavljeni iznad podmetača, a ispod sterilnog čaršava na kome leži pacijent, tako da se film nalazi u gornjem delu torza pacijenta. Filmovi su bili orijentisani tako da je žuta strana okrenuta ka rendgenskoj cevi. Kalibracija filmova je izvršena u Laboratoriji za metrologiju u Institutu za nuklearne nauke „Vinča“ na opsegu od 0 do 5 Gy kao u radu Farah et al. [6].

### 2.5. *Aplikacija za mapiranje doze*

Mapiranje doze je ostvareno pomoću podataka (javno dostupnih i privatnih) sadržanih u zaglavljima DICOM fajlova i pomoću podataka na kraju doznog izveštaja koji sumira ukupnu vrednost  $K_{a,r}$  za celu proceduru. Gornji deo tela pacijenta je modeliran kao kvadrat dimenzije 320x320 piksela. Korišćenjem podataka iz DICOM zaglavlja moguće je naći poziciju rendgenske cevi i detektora nakon čega ostaje samo da se nađe presek između ravni pacijenta i zrakova koji idu ka detektoru.

Nakon određivanja piksela koji se nalazi unutar snopa X-zračenja, pristupilo se računanju doze. Doza je izračunata na osnovu jednačine 1 [7]. U ovoj jednačini  $K_{a,r}$  predstavlja kermu u vazduhu u interventnoj referentnoj tački,  $d_{izvor-IRP}$  rastojanje od izvora do interventne referentne tačke,  $d_{izvor-pacijent}$  rastojanje od izvora do piksela pacijenta,  $CF$  kalibracioni faktor za  $K_{a,r}$ ,  $BSF$  faktor rasejanog zračenja unazad,  $MAEC$  odnos masenih koeficijenata apsorpcije energije kože i vazduha, a  $T$  je korekcionni faktor za atenuaciju snopa usled prisustva stola i podmetača.

$$Doza = K_{a,r} \times \left( \frac{d_{izvor-IRP}}{d_{izvor-pacijent}} \right)^2 \times CF \times BSF \times MAEC \times T \quad (1)$$

BSF vrednosti su izračunate u zavisnosti od kvaliteta snopa i veličine polja korišćenjem podataka dobijenih u radu *Benmakhlouf et al.* [8]. Veličina *MAEC* je preuzeta iz baze NIST (eng. *National Institute of Standards and Technology*) [9]. Koža je modelirana kao meko tkivo (ICRU četiri-komponente). Korekcionni faktor za atenuaciju snopa zbog prisustva stola i podmetača, *T*, utiče osetno na primarni snop i uzeta je konzervativna vrednost 0,8 za svaku ekspoziciju. Pošto ne postoje geometrijski i dozimetrijski podaci o svakoj fluoroskopskoj ekspoziciji, njen doprinos je podjednako raspoređen na svim lokacijama, pa se svakoj fluorografskoj dozi dodaje i doprinos ukupne fluorskopske doze koja se deli sa ukupnim brojem fluorografija.

Aplikacija za mapiranje doze na površini kože pacijenta je napravljena u programskom jeziku Python. Biblioteka Tkinter je korišćena za pravljenje grafičkog interfejsa aplikacije. Aplikacija ima jednostavan dizajna sa namerom za laku upotrebu. Korisnik samo treba da odabere DICOM fajlove generisane nakon završene procedure i da unese kumulativnu dozu (ukupnu kermu u vazduhu u interventnoj referentnoj tački) nakon čega se dobija 2D mapa pacijenta u boji, gde svaka boja predstavlja određenu dozu.

### 3. Rezultati

#### 3.1. Aplikacija za mapiranje doze

Grafički interfejs razvijene aplikacije je prikazan na Slici 1. Kako bi se dobila dozna mapa neophodno je izvršiti sledeće korake:

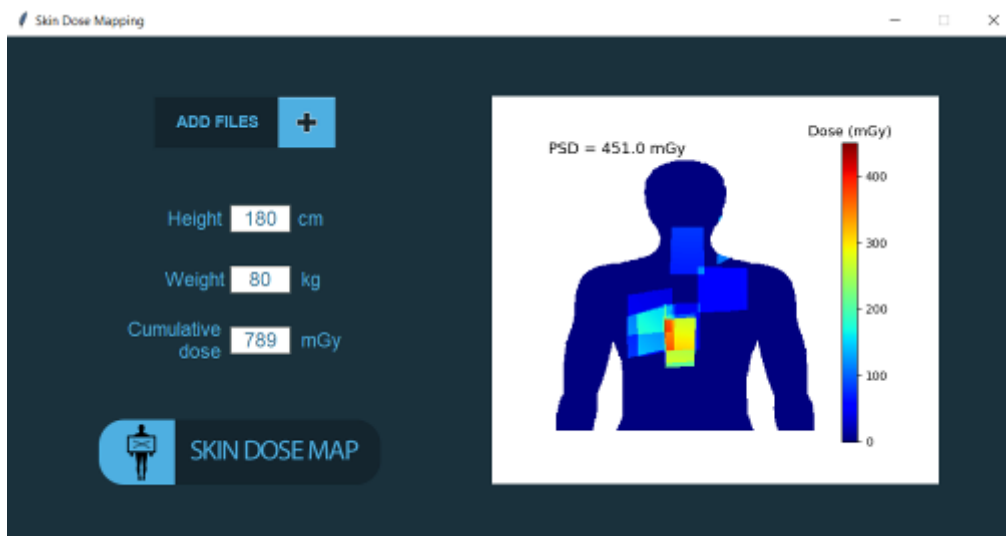
- Izabrati DICOM fajlove pritiskom na dugme “ADD FILES”,
- Uneti visinu i težinu pacijenta u cilju dobijanja realnije predstave pacijenta,
- Uneti kumulativnu dozu.

Nakon unošenja neophodnih parametara, pritiskom na dugme “SKIN DOSE MAP” program pristupa proračunu doze i relativno brzo (par sekundi za 20 DICOM fajlova) generiše doznu mapu u desnom delu aplikacije. Skala boja je prikazana pored dozne mape u cilju lakše identifikacije regije od interesa. Vrednost PSD je prikazana u gornjem levom delu mape.

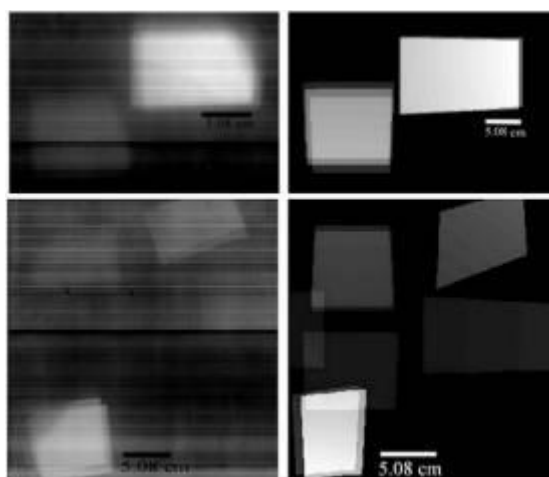
#### 3.2. Geometrijsko poređenje između XR-RV3 Gafchromic filmova i simulacije

Geometrijsko poređenje između XR-RV3 Gafchromic filmova i simulacije za dve različite procedure je prikazano na Slici 2. Jasno se vidi sličnost koja potvrđuje geometrijsku ispravnost modela. Treba napomenuti da skener koji je korišćen za geometrijsko poređenje nije korišćen prilikom kalibracije usled prisustva horizontalnih linija na skeniranoj slici.





**Slika 1. Aplikacija za mapiranje doze na površini kože.**

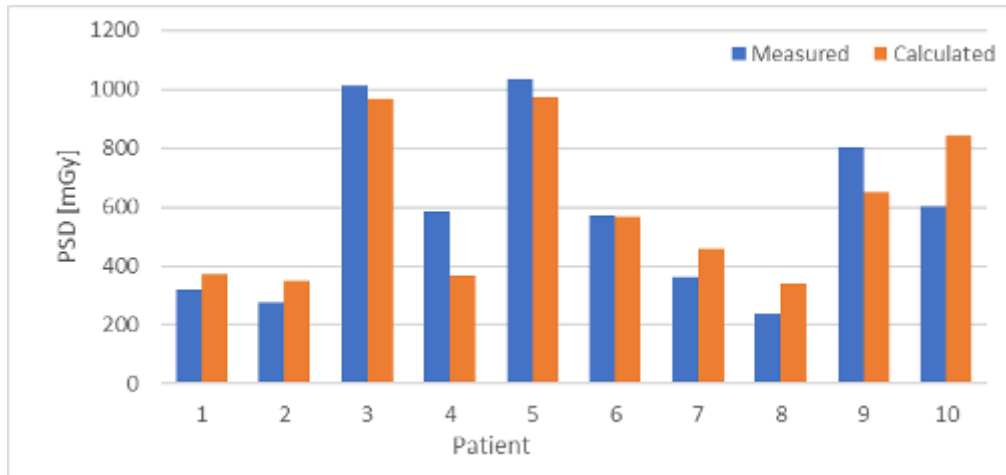


**Slika 2. Geometrijsko poređenje između XR-RV3 Gafchromic filmova (levo) i simulacije (desno).**

### ***3.3. Poređenje izmerene i izračunate doze***

Na Slici 3. je prikazana razlika između izmerenih i izračunatih PSD vrednosti za sve pacijente. Kako bi se verifikovala aplikacija za svakog pacijenta je izračunata devijacija između izračunatih i izmerenih vrednosti PSD. Uzimajući u obzir sve procedure, devijacije između izmerenih i izračunatih vrednosti PSD se kreću u opsegu između -37,1% i 43,9%, dok je srednja devijacija  $8,7\% \pm 26,3\%$ .





**Slika 3. Razlika između izmerenih i izračunatih PSD vrednosti za sve pacijente.**

#### 4. Diskusija

Originalna aplikacija prikazana u ovom radu za mapiranje doze na površini kože pacijenta predstavlja praktičan i efikasan način određivanja maksimalne doze pacijenta u interventnoj kardiologiji. Uzimajući u obzir sve procedure, devijacije između izmerenih i izračunatih vrednosti PSD se kreću u opsegu između -37,1% i 43,9%, dok je srednja devijacija  $8,7\% \pm 26,3\%$ .

U nastavku su opisani glavni nedostaci korišćene metodologije, softvera i DICOM standarda u pogledu mapiranja doze na površini kože i određivanja maksimalne doze. Zaglavlje DICOM fajla ne sadrži podatke o pomeranju stola na kome leži pacijent u 3D prostoru, pa je pretpostavka da se sto ne pomera u lateralnom i longitudinalnom smeru, a da je visina stola konstanta. Nedostatak ovih informacija ima za posledicu da ne može da se odredi tačna mapa doze na površini kože, već je pretpostavka da se doza akumulira u jednoj regiji, a u stvarnosti može biti u više različitih regija. 3D predstava pacijenta, za razliku od 2D predstave kao u softveru, predstavlja realniju situaciju tokom procenu doze, i može doći do izražaja pri većim angulacijama, kada je bočni deo pacijenta izložen zračenju. Veličina pacijenta kao i tačna pozicija pacijenta na stolu mogu dodatno učiniti procenu doze preciznijom.

#### 5. Zaključak

Ovaj rad predstavlja originalnu razvijenu aplikaciju za mapiranje doze u IC. Aplikacija koristi standardizovane DICOM fajlove kako bi se generisala dozna mapa i predstavlja elegantno rešenje i pogodnu alternativu za XR-RV3 Gafchromic filmove. Cilj daljeg istraživanja je implementacija DICOM RDSR i generisanje doznih mapa na 3D ljudskim modelima.

#### 6. Zahvalnica

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, u okviru projekta broj III 43009.

### 7. Literatura

- [1] Y. Khodadadegan, M. Zhang, W. Pavlicek, R.G. Paden, B. Chong, B.A. Schueler, K.A. Fetterly, S.G. Langer, T. Wu. Automatic Monitoring of Localized Skin Dose with Fluoroscopic and Interventional Procedures. *J. Digit. Imaging*, Vol 24, No 4 (August), 2011, 626-639.
- [2] J. Greffier, C. Van Ngoc Ty, G. Bonniaud, G. Moliner, B. Ledermann, L. Schmutz, L. Cornillet, G. Cayla, J.P. Beregi, F. Pereira. Assessment of peak skin dose in interventional cardiology: A comparison between Gafchromic film and dosimetric software em.dose. *Phys. Medica* 38, 2017, 16–22.
- [3] C. Bordier, R. Klausz, L. Desponds. Patient dose map indications on interventional x-ray systems and validation with gafchromic XR-RV3 film. *Radiat. Prot. Dosim.* 163(3), 2015, 306–318.
- [4] DICOM standard. Dostupan na: <http://dicom.nema.org>.
- [5] Implementation of the International Code of Practice on dosimetry in diagnostic radiology. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2011.
- [6] J. Farah A. Trianni O. Ciraj-Bjelac I. Clairand C. De Angelis S. Delle Canne L. Hadid C. Huet H. Jarvinen A. Negri L. Novák M. Pinto T. Siiskonen M. J. Waryn Ž. Knežević. Characterization of XR-RV3 GafChromic® films in standard laboratory and in clinical conditions and means to evaluate uncertainties and reduce errors. *Med Phys.* 42(7), 2015, 4211-4226.
- [7] A. Kyle Jones, Alexander S. Pasciak. Calculating the peak skin dose resulting from fluoroscopically guided interventions. Part I: Methods. *J Appl Clin Med Phys.*, Vol. 12 No 4, 2011, 3670.
- [8] H. Benmakhlouf, H. Bouchard, A. Fransson, P. Andreo. Backscatter factors and mass energy-absorption coefficient ratios for diagnostic radiology dosimetry. *Phys Med Biol.* 56(22), 2011, 7179-204.
- [9] Tabele masenih koeficijenata apsorpcije energije. Dostupno na: <https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients>.

## SKIN DOSE MAPPING IN INTERVENTIONAL CARDIOLOGY

**Marko KRAJINOVIĆ<sup>1,2</sup> and Olivera CIRAJ-BJELAC<sup>1,2</sup>**

1) *University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia,*  
[marko.krajinovic@vinca.rs](mailto:marko.krajinovic@vinca.rs)

2) *University of Belgrade, School of Electrical Engineering, Belgrade, Serbia,*  
[ociraj@vinca.rs](mailto:ociraj@vinca.rs)

### ABSTRACT

Interventional Cardiology (IC) procedures are frequently associated with relatively high dose rates and prolonged irradiation times, which often results in very high absorbed skin doses. Objective of this work is to develop skin dose mapping application for Peak Skin Dose (PSD) estimation in Interventional Cardiology procedures. PSD was calculated using necessary information from Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) headers generated after cardiac procedures. Calculated PSDs were validated using XR-RV3 Gafchromic films placed under the patient's back during each procedure. The mean deviation between measured and calculated PSD was  $8.7\% \pm 26.3\%$ . Simulated skin dose map showed good matching with XR-RV3 Gafchromic film. Skin dose mapping application presented in this paper is elegant solution and suitable alternative to XR-RV3 Gafchromic film.